

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Директора

Физического института

им. П. Н. Лебедева РАН

С.Ю. Савинов

« 11 » октября 2019 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Байдаковой Наталии Алексеевны «Процессы поглощения и излучения света в структурах с Ge(Si) самоформирующимися наноструктурами, выращенными на различных подложках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Актуальность работы

Полупроводниковые гетероструктуры с самоформирующимися квантовыми точками и наноструктурами в последние десятилетия являются объектом интенсивных исследований, обусловленных как изучением фундаментальных явлений, проявляющихся в низкоразмерных системах, так и возможностью использования данных структур для создания полупроводниковых приборов. Благодаря хорошо развитой технологии формирования и ее относительной простоте, гетероструктуры SiGe исторически рассматриваются как модельная система для изучения физических процессов в гетероструктурах. Это относится как к изучению процессов формирования трехмерных нанобъектов, так и к исследованию излучательных свойств низкоразмерных гетеросистем, обладающих гетерограницей II рода. С другой стороны, благодаря своим оптическим свойствам, а именно – наблюдению

сигнала фото- и электролюминесценции в области 1.3-1.6 мкм при комнатной температуре, структуры с самоформирующимися Ge(Si) островками привлекательны и с точки зрения возможного практического применения для создания источников излучения, совместимых с современной кремниевой технологией. Кроме того, относительная простота формирования структур с Ge(Si) наноструктурами и возможность их роста на подложках «кремний на изоляторе» делает их удобным объектом для формирования различных микрорезонаторов и исследования взаимодействия активной среды с ними. Таким образом, изучение процессов излучения и поглощения в структурах с Ge(Si) самоформирующимися островками, которым посвящена диссертация Н.А. Байдаковой, безусловно, является актуальной задачей.

Научная новизна исследований и полученных результатов

1. Впервые были проведены детальные исследования спектральных и временных характеристик ФЛ структур с Ge(Si) островками при различных условиях: температурах измерения и длинах волн возбуждающего излучения. В спектрах ФЛ выделены и исследованы компоненты, соответствующие пространственно прямой и пространственно непрямой излучательной рекомбинации носителей заряда в островках. Был детально рассмотрен вклад, вносимый каждым из этих сигналов, в общий сигнал ФЛ Ge(Si) островков в зависимости от условий измерения и параметров структур.
2. Для исследования структур с Ge(Si) островками была проведена модификация методики спектроскопии возбуждения ФЛ, позволяющая учитывать изменение формы сигнала ФЛ Ge(Si) островков в зависимости от длины волны возбуждения и получать спектры возбуждения ФЛ для различных излучательных процессов в островках.
3. С использованием методик спектроскопии ФЛ с временным разрешением и модифицированной методики спектроскопии возбуждения ФЛ изучены процессы возбуждения ФЛ Ge(Si) островков. Показано, что при межзонной оптической накачке основной вклад в возбуждение ФЛ Ge(Si) островков вносят механизмы поглощения и диффузии носителей заряда в кремниевой матрице, а в условиях подзонной для кремния оптической накачки основным механизмом

возбуждения ФЛ становится поглощение излучения непосредственно в Ge(Si) островках.

4. Изучено влияние соотношения толщин напряженных слоев Si над и под островками на ширину линии ФЛ Ge(Si) островков, заключенных между напряженными слоями Si. За счет компенсации диффузионного размытия верхнего слоя кремния получены структуры с рекордно узкой для структур с массивом пространственно неупорядоченных Ge(Si) самоформирующихся островков линией ФЛ (ширина пика на его полувысоте 20-30 мэВ при температуре 20 К).

5. Впервые на подложках “напряженный кремний на изоляторе” с тонким напряженным слоем Si и тонким захороненным слоем SiO₂ получены эпитаксиальные светоизлучающие SiGe структуры.

Достоверность полученных результатов

При проведении экспериментов, вошедших в диссертационную работу Н.А. Байдаковой, были использованы современные методики исследования: спектроскопия фото- и электролюминесценции, спектроскопия фотолуминесценции с временным разрешением, спектроскопия возбуждения фотолуминесценции. Экспериментальные данные были получены с использованием дополняющих друг друга методик. О достоверности полученных экспериментальных результатов свидетельствует их согласованность с теоретическими оценками и данными, известными из литературы.

Общая оценка диссертационной работы

В диссертации показано, что в спектрах ФЛ структур с Ge(Si) самоформирующимися островками возможно наблюдение сигналов, связанных с пространственно не прямой и пространственно прямой излучательной рекомбинацией носителей заряда в островках. Данные сигналы характеризуются различными временами спада и в зависимости от условий измерения и типа структур могут вносить различный вклад в общий сигнал ФЛ Ge(Si) островков. Наглядно продемонстрировано, что при межзонной для Si

оптической накачке основной вклад в возбуждение сигнала ФЛ Ge(Si) островков вносит захват носителей заряда из кремниевой матрицы, тогда как при подзонной для Si оптической накачке основным каналом возбуждения ФЛ островков становится поглощение на пространственно прямых переходах в островках.

Во второй части диссертации проведено исследование оптических свойств менее изученного класса структур – структур с Ge(Si) самоформирующимися островками, заключенными между напряженными слоями Si. Для данного типа структур показана возможность влияния на ширину линии за счет изменения соотношения толщин слоев напряженного кремния под и над островками, и получены структуры с рекордно узкой (для структур с Ge(Si) островками) линией ФЛ. Для формирования подобного типа структур впервые были использованы подложки «напряженный кремний на изоляторе».

Несмотря на общую положительную оценку диссертационной работы, следует отметить ряд замечаний:

1. Механизмы излучательной рекомбинации обсуждаются в рамках одноэлектронного приближения, не учитывающего, в частности, экситонные эффекты. В тоже время, роль экситонных эффектов в наноструктурах может заметно возрастать по сравнению с объемными материалами за счет пространственной локализации электронов и дырок.

2. В работе не обсуждается возможная дислокационная люминесценция непосредственно Ge(Si) островков. В то же время, возможный вклад дислокационной люминесценции может быть существенен при интерпретации спектров излучения вблизи 1.5 мкм.

Тем не менее, несмотря на существующие замечания, диссертационная работа в целом, заслуживает положительной оценки. Н.А. Байдакова получила интересные экспериментальные результаты при решении актуальной научной задачи, связанной с исследованием процессов поглощения и излучения света в структурах с Ge(Si) самоформирующимися островками. Работа, по своему научному уровню, знанию и достоверности новых результатов, полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявленным к кандидатским диссертациям и паспорту специальности 05.27.01 – твердотельная электроника,

радиоэлектронные компоненты, микро и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах в п.1 (Разработка и исследование физических принципов создания новых и совершенствования традиционных приборов твердотельной электроники, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах, включая оптоэлектронные приборы и преобразователи физических величин (сенсоры)). Н.А. Байдакова несомненно заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Настоящий отзыв, составленный старшим научным сотрудником кандидатом физ.-мат. наук В.С. Кривобок, заслушан и утвержден на заседании Учёного Совета Отделения Физики твердого тела ФИАН 11 октября 2019 года, протокол № 7/19.

В составе Ученого совета 40 чел.

Присутствовало на заседании 29 чел.

Результаты голосования: «за» - 29, «против» - 0, «воздержались» - 0.

Почтовый адрес: 119333, Москва, Ленинский пр-т, 59

Тел.: 8 (499)132-65-54

E-mail: office@lebedev.ru

И.о. руководителя отделения ОФТТ ФИАН

доктор физ.-мат. наук



Е.И. Демихов